

Office fédéral des routes

Rapport

Danger naturel « Chutes de pierres » pour les routes nationales

Rapport final du Groupe d'Experts OFROU



2003



Rapport

Danger naturel « Chutes de pierres » pour les routes nationales

Rapport final du Groupe d'Experts OFROU

Impressum

Membres du groupe d'experts

Bauman Reto	-	ingénieur forestier	-	OFEFP
Donzel Michel	-	ingénieur civil	-	OFROU (président)
Favre Jérôme	-	ingénieur civil	-	Canton du Valais
Figi Heinrich	-	ingénieur civil	-	Canton des Grisons
Guidotti Nicola	-	ingénieur civil	-	Canton du Tessin
Huber Heribert	-	ingénieur civil	-	Canton d'Uri
Hofer Andreas	-	ingénieur civil	-	OFROU
Jacquemoud Joseph	-	ingénieur civil	-	Bureau d'ingénieurs (rédacteur)
Lang Thomas	-	ingénieur civil	-	CFF
Raetzo Hugo	-	géologue	-	OFEG
Rouiller Jean-Daniel	-	géologue	-	Canton du Valais
Wyss Markus	-	ingénieur civil	-	Canton de Berne

Editeur

Office fédéral des routes OFROU, Division Infrastructure routière, Domaine Ouvrages d'art, 3003 Berne

Lieu, date

Berne, 2003

Le contenu de ce rapport n'engage que les auteurs mandatés par l'Office fédéral des routes

© "ASTRA" 2003, reproduction autorisée, sauf à des fins commerciaux, avec citation de la source
Ce rapport peut être téléchargé de l'Internet sous www.astra.admin.ch/html/fr/downloads/

RESUME

La Confédération dans son rôle de législateur, d'autorité de surveillance et d'organe de subventionnement répond de multiples manières à la demande de la population de protection contre les dangers naturels.

De par l'ampleur des moyens de protection qu'il requiert ce type de danger nécessite une approche globale et cohérente.

Les routes nationales, sur initiative de son organe faitier l'OFROU, ont dans ce cadre général et pour leurs besoins particuliers confié à un groupe d'experts la tâche d'évaluer le traitement du danger naturel de chutes de pierres sur leur réseau.

Ce groupe composé d'ingénieurs civils, de géologues et d'ingénieurs forestiers, a situé l'importance de ce danger en général et pour les routes nationales, et évalué le traitement donné actuellement à cette question. Son analyse aboutit à la formulation d'une liste de propositions concrètes pour combler des lacunes constatées et apporter les bases et éléments utiles à une sécurité ciblée et maîtrisée des voies de circulation.

Le danger de chutes de pierres n'est pas dominant pour les routes nationales mais est cependant réel. Il est présent de façon très inégale selon les cantons, avec une exposition forte de tronçons spécifiques dans sept cantons et moyenne dans sept autres cantons. Le parc des ouvrages de protection existants sur les routes nationales est notable avec 14 km de galeries et plus de 400 sites équipés d'autres moyens de protection ou de surveillance. Malgré plusieurs dizaines d'accidents plus ou moins spectaculaires, dont trois très récents, aucun cas de mort d'homme n'est survenu sur les routes nationales, ce qui n'est pas le cas des autres routes sur lesquelles la Confédération est aussi partiellement impliquée.

Pour ce qui est de la situation momentanée actuelle, deux enquêtes effectuées auprès des cantons ont permis de constater d'une part qu'il n'y a pas de situations critiques immédiates dans les zones de portails de tunnel, et d'autre part qu'aucune faiblesse apparente grave n'a été relevée par les cantons dans les zones reconnues, équipées, protégées ou surveillées. Aucune intervention urgente n'a donc été ordonnée.

Le traitement du danger de chutes de pierres dans sa globalité, comme d'ailleurs des dangers naturels en général, fait intervenir des aspects techniques (évaluation du danger, mesures de protection), scientifiques (analyse du risque), administratifs, organisationnels et aussi juridiques.

Pour ces différents aspects le groupe d'expert propose plusieurs actions propres à éclaircir et améliorer la pratique actuelle.

Dix actions appréciées comme nécessaires pour l'OFROU sont recommandées prioritairement :

- Techniquement :
 - vérification de toutes les galeries de protection et portails de tunnel contre les chutes de pierres existants quant aux dangers potentiels présents en parois, au principe de dimensionnement utilisé et à la sécurité effective de la construction; établissement d'un cahier des charges unifié par l'OFROU et demande aux cantons d'inclure ces vérifications dans leur programme de surveillance des ouvrages d'art
 - vérification générale des portails de tunnels ayant un rôle de protection contre les chutes de pierres quant à la conformité de la réalisation par rapport aux projets approuvés; action déjà réalisée en 2003
 - actualisation de la directive OFROU/CFF sur les actions aux nouvelles normes techniques de la SIA (Swisscodes).
- Scientifiquement :
 - développement d'une méthode d'évaluation du risque accepté et détermination des degrés de protection requis pour les routes nationales; cette action inclut des aspects socio-politiques pour un traitement cohérent de tous les dangers naturels
 - développement d'un guide pour l'évaluation cohérent et uniforme des probabilités d'événements de chutes de pierres, à l'intention des spécialistes.
- Administrativement et organisationnellement :
 - demande aux cantons de tenir un inventaire systématique des événements subis et information sur la banque de données StorMe de l'OFEFP existante et à disposition
 - demande aux cantons d'établir les cartes de danger des zones des routes nationales exposées aux chutes de pierres; définition par l'OFROU des éléments à spécifier sur ces cartes
 - information aux cantons sur les obligations résultant de la directive OFEFP, quant à l'utilisation de filets de protection homologués; action déjà réalisée
 - création à l'OFROU d'un poste de spécialiste des dangers naturels pour la gestion interne et la coordination interdépartementale
 - établissement par l'OFROU d'un guide, catalogue et plan d'action sur les actions à entreprendre par les cantons après un événement de chutes de pierres sur une route nationale.

Pour les CFF, ces actions sont recommandées par analogie.

Les huit autres actions recommandées ne sont pas secondaires, mais relèvent soit d'une urgence moins pressante, soit d'une tâche non uniquement spécifique à l'OFROU. Les propositions établies doivent aussi servir de guide et d'élément de coordination pour les projets développés dans les nombreux autres offices fédéraux impliqués également dans le traitement des dangers naturels en général et des chutes de pierres en particulier.

Table des matières

RESUME	
1. TERMINOLOGIE	11
1.1 Glossaire	11
1.2 Offices fédéraux et institutions officielles	14
1.3 Autres abréviations.....	15
2. INTRODUCTION.....	16
2.1 Motifs de l'OFROU	16
2.2 Objectifs du groupe d'experts.....	16
2.3 Composition et organisation du groupe d'experts.....	16
3. IMPORTANCE DES DOMMAGES DUS AUX CHUTES DE PIERRES SUR LES VOIES DE CIRCULATION	17
3.1 Préambule	17
3.2 Genres de dommages.....	17
3.3 Ampleur des dommages	18
3.4 Comparaison avec les accidents de la circulation	18
3.5 Comparaison avec les autres dangers naturels.....	19
3.6 Répartition géographique en Suisse et pour les routes nationales	20
4. OUVRAGES DE PROTECTION EXISTANTS SUR LE RESEAU DES ROUTES NATIONALES.....	20
5. EVENEMENTS CONNUS	22
5.1 Inventaires et statistiques.....	22
5.2 Cadastre des événements StorMe.....	22
5.3 Evènements marquants connus.....	23
6. CONTEXTE LEGAL	23
6.1 Dispositions légales spécifiques applicables	23
6.2 Tâches, compétences et responsabilités pour les routes nationales	27
7. ELEMENTS DE LA THEMATIQUE CHUTES DE PIERRES	27
7.1 Définitions.....	27
7.2 Eléments de la thématique chutes de pierres.....	28
8. POTENTIELS DE DANGERS	28
8.1 Objet.....	28
8.2 Moyens et état des connaissances.....	29
8.3 Inventaires des dangers.....	30
9. ANALYSE DES RISQUES ET OBJECTIFS DE PROTECTION.....	31
9.1 Objet.....	31
9.2 Détermination du risque	32
9.3 Objectif de protection – risques acceptés	32

10.	MESURES DE PROTECTION A L'AMONT DE LA VOIE DE CIRCULATION.....	33
10.1	Forêt protectrice	33
10.2	Intervention en falaises	33
10.3	Construction d'écrans dans la pente.....	34
10.4	Mesures de surveillance	34
11.	MESURES DE PROTECTION AU NIVEAU VOIE DE CIRCULATION	34
11.1	Mesures actives	34
11.2	Mesures passives.....	36
11.3	Choix et mise en œuvre	36
12.	REGLEMENTATION POUR LE DIMENSIONNEMENT DES OUVRAGES DE PROTECTION	36
13.	MESURES DE SUIVI ET SURVEILLANCE	37
13.1	Objet.....	37
13.2	Moyens et état des connaissances	38
14.	LACUNES CONSTATEES ET ACTIONS RECOMMANDEES PAR LE EXGR.....	39
14.1	Aspect "A" : Potentiels de dangers (cf. ch. 8)	39
14.2	Aspect "B" : Analyse des risques et objectifs de protection (cf. ch.9).....	40
14.3	Aspect "C" : Mesures de protection à l'amont de la voie de circulation (cf. ch. 10).....	41
14.4	Aspect "D" : Mesures de protection au niveau voie de circulation (cf.ch.11).....	41
14.5	Aspect "E" : Réglementation pour le dimensionnement des ouvrages de protection (cf. ch. 12).....	42
14.6	Aspect "F" : Mesures de suivi et surveillance (cf. ch. 13)	42
14.7	Aspect "G" : Mesures générales pour la gestion des dangers naturels.....	44
15.	CONCLUSION	46
	BIBLIOGRAPHIE ET REFERENCES	48

ANNEXE 1	:	Evaluation KATANOS
ANNEXE 2	:	Enquêtes auprès des cantons
ANNEXE 3	:	Résultats enquête n° 1
ANNEXE 4	:	Intensité de l'exposition
ANNEXE 5	:	Evénements marquants
ANNEXE 6	:	Risque
ANNEXE 7	:	Systèmes de protections – énergies
ANNEXE 8	:	Appréciation du danger
ANNEXE 9	:	Cadastre StorMe
ANNEXE 10	:	Matrice de coordination

1. TERMINOLOGIE

1.1 Glossaire

Chute de pierres, chutes de blocs <i>Steinschlag, Blockschlag</i>	Chute, rebondissement et roulement de pierres individuelles ($\varnothing < 50$ cm) et de blocs ($\varnothing > 50$ cm), dont le volume total est inférieur à 100 m^3 [3] <i>Fallen, Springen und Rollen von einzelnen Steinen ($\varnothing < 50$ cm) und Blöcken ($\varnothing > 50$ cm), wobei das Gesamtvolumen kleiner als 100 m^3 ist [3]</i>
Danger <i>Gefahr</i>	Condition, circonstance ou processus dont peut résulter un dommage pour l'homme, l'environnement ou les biens [11] <i>Zustand, Umstand oder Vorgang, aus dem ein Schaden für Mensch, Umwelt oder Sachgüter entstehen kann [11]</i>
Dommage <i>Schaden</i>	Effet négatif d'un événement ou d'un processus [11] <i>Negativ bewertete Konsequenz eines Ereignisses oder einer Handlung [11]</i>
Eboulement <i>Felssturz</i>	Chute d'une masse rocheuse qui se fractionne durant la chute et lors de l'impact en blocs et pierres, et dont l'interaction entre les composantes n'a pas d'influence majeure sur la dynamique du processus [3] <i>Sturz einer Feldmasse, die während des Sturzes bzw. beim Aufprall in Blöcke und Steine fraktioniert wird, wobei die Interaktion zwischen den Komponenten keinen massgebenden Einfluss auf die Dynamik des Prozesses hat [3]</i>
Ecroulement <i>Bergsturz</i>	Effondrement de très grandes masses rocheuses, plus ou moins cohérentes dans leur unité rocheuse originale, atteignant de grandes vitesses, et dont la mécanique de transport est marquée par une forte interaction entre les composantes [3] <i>Absturz sehr grosser, im ursprünglichen Felsverband mehr oder weniger kohärenter Felsmassen unter Erreichung hoher Geschwindigkeiten, wobei der Transportmechanismus durch eine starke Wechselwirkung zwischen den Komponenten gekennzeichnet ist [3]</i>

Mesure active <i>Aktive Massnahme</i>	Mesure de protection qui agit activement contre le phénomène naturel pour réduire le danger ou modifier largement la probabilité d'occurrence (p. ex. filet de protection, revêtements de rochers par des treillis) [3] <i>Schutzmassnahme, die dem Naturereignis aktiv entgegenwirkt, um die Gefahr zu verringern oder die Eintretenswahrscheinlichkeit wesentlich zu verändern (z.B. Schutznetze, Felsabdeckungen aus Gittern) [3]</i>
Mesure passive <i>Passive Massnahme</i>	Mesure préventive qui doit conduire à une réduction des dommages sans influencer activement le déroulement du phénomène naturel (p. ex. mesures d'aménagement du territoire, modifications de tracé, tunnels) [3] <i>Schutzmassnahme, die zu einer Reduktion des Schadens führen soll, ohne den Ablauf des Naturereignisses aktiv zu beeinflussen (z.B. raumplanerische Massnahmen, Traceänderungen, Tunnels) [3]</i>
Objectif de protection <i>Schutzziel</i>	Définition qualitative et quantitative du risque à prévenir par des mesures actives ou passives <i>Qualitative und quantitative Definition des Risikos, das es durch aktive oder passive Massnahmen zu verhindern gilt</i>
Potentiel de danger <i>Gefahrenpotential</i>	Intensité, fréquence ou probabilité de la réalisation d'un événement, avec les conditions physiques qui le régissent et l'étendue topographique qu'il peut prendre (situation avant qu'un événement ne se réalise) <i>Intensität, Häufigkeit oder Wahrscheinlichkeit des Eintritts eines Ereignisses, seine physikalischen Bedingungen und seine mögliche Ausdehnung (Situation vor der Realisierung eines Ereignisses)</i>
Potentiel de dommage <i>Schadenpotential</i>	Ensemble des conséquences pour l'homme, l'environnement ou les biens dues à des événements (de chute de pierres), soit effets pendant et après la réalisation d'un danger <i>Gesamtheit der Folgen der Ereignisse (Steinschlag) für den Menschen, die Umwelt und die Güter (während oder nach der Realisierung der Gefahr)</i>

Risque
Risiko

Définition qualitative et quantitative d'un dommage, à savoir sa probabilité d'occurrence et l'étendue des répercussions [11]. Analytiquement le risque est la combinaison (espérance mathématique) du danger potentiel avec le dommage potentiel correspondant exprimés pour une intensité donnée avec leurs probabilités respectives d'apparition (cf ch 9.1)

Qualitative oder quantitative Charakterisierung eines Schadens hinsichtlich der Möglichkeit des Eintreffens und der Tragweite der Schadenswirkung [11]. Analytisch ist das Risiko die Kombination (mathematische Erwartung) von Gefahrenpotential und zugehörigem Schadenspotential für eine bestimmte Intensität, berechnet mit deren jeweiliger Eintretenwahrscheinlichkeit (cf Zi 9.1)

Risque accepté
Akzeptiertes Risiko

Risque d'ampleur connue consciemment pris en compte d'un commun accord par les parties concernées [11]

In seiner Grösse bekanntes, durch den Konsens der Beteiligten bewusst hingenommenes Risiko [11]

1.2 Offices fédéraux et institutions officielles

ARE ARE	:	Office fédéral du développement territorial, Berne <i>Bundesamt für Raumentwicklung, Bern</i>
CEAC EKLS	:	Commission fédérale d'experts en avalanches et chutes de pierres <i>Eidg. Expertenkommission Lawinen und Steinschlag</i>
FNP WSL	:	Institut fédéral de recherche sur la forêt, la neige et le paysage, Birmensdorf, Lausanne, Bellinzona, ENA Davos <i>Eidg. Forschungsanstalt Bereich Naturgefahren, Birmensdorf, Lausanne, Bellinzona, SLF Davos</i>
OFAT BRP	:	(ancien) Office fédéral de l'aménagement du territoire, Berne (inclus dans ARE) <i>(alt) Bundesamt für Raumplanung, Bern (Teil vom ARE)</i>
OFEE BWW	:	(ancien) Office fédéral de l'économie des eaux, Bienne (inclus dans OFEG) <i>(alt) Bundesamt für Wasserwirtschaft, Biel (Teil vom BWG)</i>
OFEPF BUWAL	:	Office fédéral de l'environnement des forêts et du paysage, Berne-Ittigen <i>Bundesamt für Umwelt, Wald und Landschaft, Bern-Ittigen</i>
OFEG BWG	:	Office fédéral des eaux et de la géologie, Bienne <i>Bundesamt für Wasser und Geologie, Biel</i>
OFPC BABS	:	Office fédéral de la protection civile, Berne <i>Bundesamt für Bevölkerungsschutz, Bern</i>
OFROU ASTRA	:	Office fédéral des routes, Berne, Ittigen <i>Bundesamt für Strassen, Bern-Ittigen</i>
OFS BFS	:	Office fédéral de la statistique, Neuchâtel <i>Bundesamt für Statistik, Neuchâtel</i>
OFT BAV	:	Office fédéral des transports, Berne, Ittigen <i>Bundesamt für Verkehr.</i>

1.3 Autres abréviations

CREALP	:	Centre de recherche sur l'environnement alpin (VS) <i>Zentrum für alpine Umweltforschung (VS)</i>
KATANOS	:	Etude sur les conséquences de catastrophes réalisée sous l'égide de l'OFPC, 1995 <i>Studie über die Folgen von Katastrophen, durch BABS, 1995</i>
KATARISK	:	Traitement des résultats KATANOS pour diffusion par internet (système ARAMIS) <i>Aufbereitung der Ergebnisse der Studie KATANOS für einen Internetauftritt (im system ARAMIS)</i>
NAHRIS	:	Recherche sur les dangers naturels et les risques, dans le campus suisse virtuel <i>Umgang mit Naturgefahren und Risiken im Swiss Virtual Campus (VC)</i>
PLANAT	:	Plate-forme nationale "Dangers Naturels" (commission extra-parlementaire, c/o OFEG) <i>Nationale Plattform Naturgefahren (ausserparlamentarische Kommission, bei BWG).</i>

2. INTRODUCTION

2.1 Motifs de l'OFROU

Les dangers naturels se rappellent au souvenir de l'homme et en particulier de l'ingénieur de manière soudaine et récurrente. Le 4 janvier 2003, un effondrement rocheux de grande violence a transpercé la galerie d'entrée du tunnel Chüebalm à Iseltwald (N8/BE) et obstrué totalement le tunnel sur 10 à 20 m. L'accident de Chüebalm est l'un de ces signes de la nature qui interpellent l'ingénieur et rappellent l'alternative pressante : force majeure ou lacune. Il réitère aussi l'interrogation, si on peut faire plus ou mieux.

C'est dans ce cadre que la direction de l'OFROU a décidé de la constitution d'un groupe d'experts (ci-après "ExGr") et l'a chargé d'évaluer la question de la protection des voies de circulation contre les chutes de pierres.

2.2 Objectifs du groupe d'experts

Pour l'OFROU, le but final idéal peut être désigné comme "une maîtrise complète de la sécurité voulue". Cet idéal n'est pas directement et immédiatement accessible, mais résultera d'une démarche qui devrait y conduire. Les objectifs donnés au "ExGr" constituent les premiers pas de cette démarche. Ils consistent à :

- établir une image de la situation actuelle en ce qui concerne les dangers et la protection contre les chutes de pierres
- apprécier l'état des connaissances dans les différents domaines liés à la thématique des chutes de pierres et identifier les faiblesses et lacunes dans ces domaines
- établir une proposition d'action pour corriger les faiblesses et combler les lacunes, en fonction de leur importance et de leur priorité.

2.3 Composition et organisation du groupe d'experts

Le groupe "ExGr" constitué par l'OFROU rassemble des personnes directement confrontées à la protection contre les chutes de pierres de par leur activité dans les administrations cantonales et les Offices fédéraux.

Le groupe "ExGr" s'est réuni à quatre reprises durant le premier semestre 2003 pour discuter les documents de travail établis. L'ensemble des membres a contribué à l'établissement de documents de base relatifs à ses connaissances et expériences spécifiques.

La présidence est assurée par M. Michel Donzel. M. Joseph Jacquemoud intervient comme soutien technique et administratif sous mandat de l'OFROU et assume le secrétariat et la rédaction. M. Willi Schuler (OFROU) participe comme hôte aux séances du "ExGr".

3. IMPORTANCE DES DOMMAGES DUS AUX CHUTES DE PIERRES SUR LES VOIES DE CIRCULATION

3.1 Préambule

Il y a lieu tout d'abord de distinguer strictement entre potentiel de dommages et potentiel de danger.

Le potentiel de dommage traite des conséquences d'évènements de chutes de pierres, soit après que le danger se soit réalisé dans les faits. C'est l'objet des considérations de ce chapitre, établies dans le but d'apprécier l'importance des chutes de pierres pour les voies de circulation en général et pour les routes nationales en particulier.

Le potentiel de danger traite des conditions physiques, de l'étendue topographique, de l'intensité et des fréquences et probabilités pour ou dans lesquelles un événement d'un certain type peut se réaliser, soit avant qu'un dommage ne se produise. Son appréciation est traitée dans le ch. 8 ci-après.

3.2 Genres de dommages

Les dommages possibles pour les voies de circulation surviennent de quatre manières :

- a) par impacts directs de blocs et de pierres sur des personnes ou des ouvrages
- b) par la création soudaine d'obstacles (blocs, élément d'ouvrages endommagés) contre lesquels viennent percuter des véhicules. Ce cas est plus particulièrement accentué pour les voies à trafic rapide et pour les zones à visibilité réduite
- c) par obstruction prolongée d'une voie de circulation essentielle ou unique
- d) par fermeture d'un tronçon sur décision administrative, lorsque le danger potentiel a été jugé excessif.

Les cas a) et b) impliquent des risques de mort de personnes alors que les cas c) et d) n'impliquent directement que des dommages économiques d'ampleurs variables.

3.3 Ampleur des dommages

Pour les personnes, les conséquences liées à des impacts directs sont toujours graves ou mortelles. Ces événements sont cependant peu nombreux et ils touchent un nombre restreint de personnes. Quant aux dommages dus à l'apparition soudaine d'obstacles sur les voies de circulation, leur importance est très variable. Ils sont plus fréquents que les dommages dus à des impacts directs (durée de présence plus grande de l'événement), et peuvent aussi toucher un nombre plus élevé de personnes (bus, train).

L'acceptance de ces dommages par le public est variable mais elle est généralement faible; elle dépend de plusieurs conditions telles que le type de route (p. ex. autoroute ou route alpine), la présence ou non d'ouvrages de protection, ainsi que du moment et du type de l'information médiatique donnée.

Les dommages potentiels aux choses dus aux impacts directs et à l'apparition d'obstacles concernent essentiellement les ouvrages de protection, puis les véhicules et les installations annexes. Ils sont généralement peu élevés et peu fréquents.

Les dommages économiques du fait de l'obstruction ou de la fermeture d'une voie de circulation sont politiquement et socialement pesants mais n'ont généralement pas une ampleur réelle critique.

L'ampleur des dommages dépend par ailleurs de l'importance de la voie de circulation, de ses caractéristiques, du type et de l'intensité des trafics qu'elle supporte.

3.4 Comparaison avec les accidents de la circulation

Selon l'Office fédéral de la statistique (OFS), les accidents de la circulation routière sur l'ensemble des routes ouvertes au trafic ont causé moins de morts et de blessés graves en 2002 que l'année précédente. En 2002 on a dénombré 23'647 accidents avec lésions corporelles. La différence par rapport à 2001 (23'890 accidents, -1,0%) ou 2000 (23'737 accidents, -0,4%) est toutefois minime. En revanche, le nombre de tués est en nette diminution : 513 tués en 2002 contre 544 en 2001 (-5,7%) et 592 en 2000 (-13,3%). En passant de 6191 en 2000, à 6194 en 2001 puis à 5931 en 2002, le nombre de blessés graves est également en recul, mais dans une moindre mesure (20 mai 2003, communiqué de presse no 45/2003 0351-0304-50 – OFS) [1].

Sur les autoroutes, on a dénombré 76 morts en 2002, contre 71 en 2001 et 43 en 2000. Au contraire, le nombre de blessés graves sur autoroute diminue, passant de 491 en 2001 à 418 en 2002 [1].

Pour le canton de Berne et dans les dix dernières années, 42'800 accidents ont été répertoriés par la police sur les routes nationales et sur les routes cantonales. Ils ont causé 23'500 blessés et 512 morts. Quatre accidents sont attribuables à des impacts directs de pierres sur des personnes. 280 autres accidents ayant entraîné 81 blessés et deux morts ont été causés par des obstacles sur la route, sans cependant que l'on puisse distinguer s'il s'agissait de pierres ou de blocs de rochers. Il est ainsi à constater que le nombre d'accidents dus à des chutes de pierres est inférieur à 0.5% de tous les autres accidents. De même le nombre de blessés, le nombre de morts et les dégâts matériels représentent moins de 0.5% de l'ensemble des dommages.

Dans les cinq dernières années en Suisse, on estime à 3-8 par année le nombre de personnes blessées lors d'accidents dus à des chutes de pierres. Quatre cas de morts sont connus dans les dix dernières années.

Il est ainsi permis de conclure que les dommages aux personnes dus à des chutes de pierres sur les routes suisses sont statistiquement de faible importance par rapport aux dommages dus aux accidents de la route. Il est cependant à relever que ce type d'accident est ressenti avec une forte aversion par le public (voir aussi ch. 9.3 et Annexe 6).

3.5 Comparaison avec les autres dangers naturels

Les potentiels de dommages au trafic routier dus aux autres dangers naturels sont très variables.

- Les inondations et crues de cours d'eau agissent principalement par érosions de pieds de versants ou de fondations d'ouvrages d'art, et par coulées directes de laves torrentielles sur les voies de circulation. A l'extrême peuvent se produire des glissements superficiels instantanés avec effondrement de la chaussée et de ses ouvrages d'art. Les atteintes aux personnes touchées sont en général moyennes et les dégâts matériels élevés. Leur fréquence est moyenne.
- Les avalanches agissent directement sur les voies de circulation et leurs usagers. Les conséquences pour les personnes touchées sont en général graves, les obstructions des voies de circulation sont moyennement longues, les dégâts matériels sont peu élevés. Leur fréquence est élevée.
- Les glissements agissent sur les voies de circulation et les ouvrages d'art soit par déformation lente, soit par accélération rapide des terrains instables. Les glissements spontanés ou les coulées provoquées peuvent surcharger les ouvrages, obstruer les voies de circulation ou provoquer la rupture d'un ouvrage. Les atteintes aux personnes touchées sont en général moyennes et les dégâts matériels élevés. La fréquence des glissements est élevée, mais seul le cas d'accélération rapide représente un danger élevé pour les personnes.

- Les séismes constituent un danger à relativement grande échelle, sans spécificité particulière pour le trafic routier. Les dommages aux personnes et aux choses sont potentiellement très élevés. Leur fréquence est faible. Ils peuvent être cause et moteurs d'autres dangers naturels.
- Les tempêtes et ouragans ont le plus souvent des effets indirects sur le trafic, principalement par la création d'obstacles (arbres) sur les voies de circulation.
- La foudre intervient comme une action directe très aléatoire touchant en général très gravement 8 à 10 personnes par an en Suisse. Les usagers à l'intérieur de véhicules ne sont en principe pas touchés par ce danger. La grêle provoque essentiellement des dommages aux choses et à l'environnement, mais pas directement aux personnes.

Le potentiel de dommages dû aux chutes de pierres est ainsi apprécié, en comparaisons avec les autres dangers naturels, comme plutôt faible.

Une évaluation quantitative comparable est donnée dans l'étude KATANOS établie pour l'Office fédéral de la protection civile [4]. Dans celle-ci les coûts annuels des risques engendrés sur l'ensemble des personnes et des biens en suisse par les différentes catastrophes d'origine naturelle ont été chiffrés et comparés (Annexe 1).

3.6 Répartition géographique en Suisse et pour les routes nationales

Des dommages du fait de chutes de pierres surviennent par nature dans les zones montagneuses ou escarpées. En Suisse et pour les routes nationales 14 cantons ou demi-cantons sont concernés par ce danger naturel, de manière plus ou moins intense (Annexes 3 et 4).

4. OUVRAGES DE PROTECTION EXISTANTS SUR LE RESEAU DES ROUTES NATIONALES

L'inventaire des ouvrages de protection contre les chutes de pierres existants dans le réseau des routes nationales a été établi sur la base des enquêtes effectuées auprès des cantons.

Ces enquêtes ont été réalisées en janvier 2003 tout d'abord pour la vérification immédiate des portails de tunnels, puis en avril 2003 pour constater l'ampleur de l'exposition aux chutes de pierres des RN dans les différents cantons et définir les actions à entreprendre par le ExGr. Les lettres et formulaires transmis sont reproduits en Annexe 2.

Les résultats de ces enquêtes sont donnés dans l'Annexe 3 en ce qui concerne les portails de tunnels et dans l'Annexe 4 en ce qui concerne l'ampleur de l'exposition dans les cantons.

Exposition aux chutes de pierres dans les différents cantons

- Douze cantons ou demi-cantons ne sont pas concernés par ce danger naturel, tout au moins en ce qui concerne leur(s) route(s) nationale(s), soit les cantons de AI – AG – AR – BS – FR – GE – LU – NE – SH – TG – ZG – ZH.
- L'exposition est moyenne, c.-à-d. n'ayant pas nécessité la construction de galeries (ou très ponctuellement, p.ex. aux entrées de tunnels), mais la mise en œuvre d'autres moyens de protection en plus ou moins grand nombre, dans sept cantons ou demi-cantons soit BE – BL – JU – SG – OW – SO – VD.
- L'exposition est forte dans les sept autres cantons ou demi-cantons, soit GL(A3) – GR (A13 et A28) – NW(A2) – SZ (A4/Axenstrasse) – TI (A02P/col du Gottard) – UR (A2) – VS (A9/Simplon).

Dans tous les cas l'exposition n'est pas homogène sur le réseau, mais concentrée sur des tronçons spécifiques.

Nombre et ampleurs des ouvrages de protection existants

- Galeries : 56 galeries, avec une longueur totale de 14 km, pour une surface totale de 180'000 m². La plupart (51) ont été construites avant 1998 (date d'édition de la directive OFROU sur les actions).
- Filets de protection (tous types) : 276 sites équipés, sur une longueur totale de filets de 28 km.
- Ecrans, palissades : 50 sites équipés, sur une longueur totale de 4.7 km.
- Digues : 106 sites équipés, sur une longueur totale de 8.2 km.
- Mesures en parois : 100 parois stabilisées/renforcées et 29 parois instrumentées. A relever en sus l'utilisation de 12 forêts sur 24 km comme forêts protectrices dans le canton d'Uri.

Les mesures de protection planifiées et annoncées pour les prochaines années sont au nombre de six sur ou au voisinage de la route et sept en parois.

A cet inventaire de mesures actives de protection directes il faudrait ajouter les mesures passives prises p. ex. dans le choix des tracés pour éviter les zones exposées ou les franchir en tunnels.

Remarque sur la représentativité

L'image donnée par ces résultats et en particulier par la carte de l'Annexe 4 est à interpréter avec réserve : elle représente la situation pour les routes nationales, mais non la situation réelle du danger de chutes de pierres pour les cantons. Il est effectivement à présumer qu'il y ait moins de cantons non exposés et plus de cantons exposés fortement.

Pour les voies de circulation intéressant aussi la Confédération, il faut considérer par ailleurs les Routes Principales Suisses comprenant de nombreux cols alpins, ainsi que les Routes Cantonales, pour la protection desquelles la Confédération est aussi appelée à contribution en conséquence de la LuMin.

5. EVENEMENTS CONNUS

5.1 Inventaires et statistiques

Il est à présumer qu'un grand nombre de chutes de pierres se produisent sans entraîner de conséquences notoires pour les usagers ou le trafic. En l'absence d'un inventaire global unifié aucun chiffre objectif ne peut être donné.

Plusieurs cantons tiennent un cadastre de ces événements, mais une synthèse n'est pas effectuée dans le cadre des activités actuelles du "ExGr". L'enquête effectuée auprès des cantons par le "ExGr" donne quelques indications de base sur l'ampleur des accidents dus à des chutes de pierres sur les routes nationales (Annexe 4):

- aucun cas de mort ni de blessures aux personnes n'est signalé sur les routes nationales
- 39 cas de dommages causés aux ouvrages, infrastructures ou équipements ont été annoncés par les cantons (voir aussi l'Annexe 5).

Ce bilan est à considérer comme très favorable et "heureux". Au vu en particulier des événements récents sur l'A8, l'Axenstrasse et l'A2, les conséquences des cas relativement nombreux survenus auraient pu être plus dramatiques. Extrapoler le bilan actuel est erroné. Le danger de chute de pierres n'est pas dominant pour les routes nationales mais concrètement présent. Sur d'autres routes plusieurs cas de mort de personnes sont à déplorer.

5.2 Cadastre des événements StorMe

L'office fédéral OFEFP par sa division Direction des Forêts a entrepris dès 1996 le développement d'un cadastre informatique prévu comme premier module d'un futur système global d'information sur les dangers naturels. Depuis 1998 une banque de données extraweb dénommée "StorMe" est à disposition. Cet outil est à promouvoir dans tous les cantons et pourra donner une base essentielle pour l'analyse rétrospective statistique des dangers. Actuellement quinze cantons saisissent leurs données avec ce moyen. Les services cantonaux responsables des routes nationales tiennent pour huit d'entre eux des cadastres des événements sous diverses formes, mais la période de relevé systématique est généralement courte, sauf UR qui dispose de données dès 1957. Seuls deux cantons (BE, SG) utilisent StorMe, en relevant une (trop) grande ampleur du travail de traitement exigé. Ce support paraît être peu ou pas connu du tout dans plusieurs cantons.

Un exemplaire du formulaire de saisie établi dans ce cadre est donné en Annexe 9 comprenant les données de bases demandées et les processus principaux "Avalanche", "Chute ou éboulement", "Inondation / crue / lave torrentielle", "Glissement".

5.3 Évènements marquants connus

Plusieurs accidents sont survenus sur les routes nationales en 2003. Ceux-ci et d'autre cas plus ou moins marquants ont été évoqués dans le ExGr. Ils sont cités dans l'Annexe 5, avec un descriptif résumé sur les types d'évènements, leurs intensités et leurs conséquences principales sur les personnes et les choses.

Cette récapitulation de faits réels montre que les évènements de chutes de pierres ne sont pas une rareté exceptionnelle, y.c. pour les routes nationales, malgré leur modeste importance relative comparée aux autres dangers naturels. Leurs conséquences sont très variables et en partie sans corrélation avec les intensités des évènements survenus. La notion de "chance" ainsi induite est plus méthodiquement à relier à la quatrième dimension – le paramètre "temps" – liée essentiellement au potentiel de dommages causés aux personnes par ce type de danger naturel.

Il est encore à relever que dans plusieurs cas, des ouvrages non spécifiquement prévus et dimensionnés pour ces types et ces intensités d'actions ont eu un comportement remarquablement favorable.

6. CONTEXTE LEGAL

6.1 Dispositions légales spécifiques applicables

Le législateur a ancré dans la loi la nécessité d'identifier et de prendre en compte les dangers naturels dans l'exercice des activités humaines. Le droit fédéral stipule les dispositions à prendre dans plusieurs lois.

La politique mise en œuvre a pour objectif de ramener le risque à un niveau acceptable, en pesant le coût (proportionnalité), l'utilité et l'efficacité des mesures envisagées [5].

Bases légales principales :

- Code des Obligations, Co art. 58 :

¹ Le propriétaire d'un bâtiment ou de tout autre ouvrage répond du dommage causé par des vices de construction ou par le défaut d'entretien.

Cette disposition fixe la responsabilité fondamentale des propriétaires d'ouvrages.

– Loi fédérale sur les routes nationales (LRN), art. 5 :

¹ Les routes nationales doivent satisfaire aux exigences supérieures de la technique en matière de circulation; elles doivent en particulier garantir un trafic sûr et économique.

Cette disposition donne l'intention du législateur quant au niveau d'exigence à satisfaire.

– Loi fédérale concernant l'utilisation de l'impôt sur les huiles minérales à affectation obligatoire (LUMin), sect. 6 :

"Contributions aux frais d'ouvrages de protection contre les forces de la nature le long des routes".

Ces dispositions fixent les principes et taux des contributions de la Confédération. Elles renvoient (pour les taux) aux législations fédérales sur la police des forêts, sur la police des eaux et sur les routes nationales.

– Loi fédérale sur l'aménagement du territoire (LAT), art. 6 :

² Ils (les cantons) désignent les parties du territoire qui :

c) sont gravement menacées par des forces naturelles ou par des nuisances.

Ces dispositions attribuent aux cantons la tâche de détecter et définir les zones de dangers.

– Loi fédérale sur les forêts (LFo), art. 1, 19, 36 :

art. 1

² Elle (la loi) a en outre pour but de contribuer à protéger la population et les biens d'une valeur notable contre les avalanches, les glissements de terrain, l'érosion et les chutes de pierres (catastrophes naturelles).

art. 19

Là où la protection de la population ou des biens d'une valeur notable l'exige, les cantons doivent assurer la sécurité des zones de rupture d'avalanches ainsi que des zones de glissement de terrains, d'érosion et de chutes de pierres et veiller à l'endiguement forestier des torrents. Des méthodes aussi respectueuses que possible de la nature doivent être utilisées.

art. 36

La Confédération alloue des indemnités jusqu'à concurrence de 70 pour cent des frais occasionnés par l'exécution de mesures ordonnées pour protéger la population et les valeurs matérielles considérables contre les catastrophes naturelles, par exemple :

- a. la construction et la remise en état d'ouvrages et d'installations de protection;
- b. la création et le traitement de jeunes peuplements ayant une fonction protectrice particulière;
- c. l'établissement de cadastres et de cartes des dangers, l'aménagement et l'exploitation de stations de mesures ainsi que la mise sur pied de services d'alerte, pour assurer la sécurité des agglomérations et des voies de communication.

Ces dispositions fixent la volonté de protection, l'attribution de la tâche aux cantons, et les taux de participation de la Confédération aux frais des mesures prises.

– Ordonnance sur les forêts (OFor) art. 15 :

art. 15 Document de base

¹ Les cantons établissent les documents de base pour la protection contre les catastrophes naturelles, en particulier les cadastres et cartes des dangers.

² Lors de l'établissement des documents de base, les cantons tiennent compte des travaux exécutés par les services spécialisés de la Confédération et de ses directives techniques.

³ Ils tiennent compte des documents de base lors de toute activité ayant des effets sur l'organisation du territoire, en particulier dans l'établissement des plans directeurs et d'affectation.

Ces dispositions fixent les modalités pour l'établissement des documents de base par les cantons. En outre, l'art. 39 donne des conditions pour l'octroi des subventions fédérales, l'art. 42 définit les niveaux des indemnités, l'art. 43 y inclut les coûts pour l'établissement de cadastres et de cartes des dangers.

– Loi fédérale sur l'aménagement des cours d'eau (LACE) art. 3 et 6.

art. 3 Mesures à prendre

¹ Les cantons assurent la protection contre les crues en priorité par des mesures d'entretien et de planification.

² Si cela ne suffit pas, ils prennent les autres mesures qui s'imposent telles que corrections, endiguements, réalisation de dépotoirs à alluvions et de bassins de rétention des crues ainsi que toutes les autres mesures propres à empêcher les mouvements de terrain.

³ Les mesures doivent être appréciées compte tenu de celles qui sont prises dans d'autres domaines, globalement et dans leur interaction.

art. 6 Indemnités afférentes aux mesures de protection contre les crues

¹ Dans les limites des crédits alloués, la Confédération accorde aux cantons à capacité financière moyenne ou faible des indemnités pour les mesures de protection contre les crues notamment pour :

a) La construction d'ouvrages et d'installations de protection;

b) L'établissement de cadastres et de cartes des dangers, l'aménagement et l'exploitation de stations de mesures ainsi que la mise sur pied de services d'alerte, pour assurer la sécurité des agglomérations et des voies de communication.

² Les indemnités ne sont accordées que si les travaux prévus entrent dans le cadre d'une planification rationnelle et répondent aux exigences légales.

³ Aucune indemnité n'est accordée pour les travaux d'entretien.

– Ordonnance sur l'aménagement des cours d'eau (OACE) *art. 20, 22 et 27.*

art. 20 Directives

L'office édicte des directives, notamment sur :

- a) Les exigences liées à la protection contre les crues, aux mesures en la matière et à la revitalisation des eaux;
- b) l'établissement de cadastres et de cartes des dangers;
- c) l'établissement du décompte des indemnités et des aides financières.

art. 22 Surveillance

Les cantons analysent périodiquement les dangers découlant des eaux et l'efficacité des mesures mises en œuvre pour se protéger des crues.

art. 27 Etudes de base effectuées par les cantons

¹ Les cantons :

- a) établissent des inventaires répertoriant les ouvrages et les installations qui ont une importance pour la sécurité en cas de crues;
- b) tiennent un cadastre des dangers;
- c) élaborent des cartes des dangers et les tiennent à jour;
- d) effectuent un relevé de l'état des eaux et de leur modification;
- e) répertorient les sinistres d'une certaine importance;
- f) aménagent les stations de mesure requises dans l'intérêt de la protection contre les crues et en assurent l'exploitation.

² Ils tiennent compte des directives techniques et des travaux réalisés par la Confédération.

³ Ils mettent les données recueillies à la disposition des services fédéraux compétents.

Ces dispositions sont similaires à celles des lois et ordonnances sur les forêts.

– Loi fédérale sur les chemins de fer (LCdF), art. 17 :

Les entreprises ferroviaires sont responsables de la sécurité de l'exploitation des installations ferroviaires et des véhicules, dans les limites des prescriptions. Elles doivent rédiger les prescriptions nécessaires à une exploitation sûre et les présenter à l'office.

– Ordonnance sur les chemins de fer (OCF), art. 10 :

Les entreprises veilleront à ce que les installations ferroviaires et les véhicules répondent aux prescriptions; elles seront aussi responsables de la sécurité de l'exploitation et de l'entretien.

Ces dispositions fixent les devoirs des entreprises ferroviaires relativement à la sécurité d'exploitation, et les rôles de l'autorité de surveillance (OFT) relativement aux prescriptions émises.

6.2 Tâches, compétences et responsabilités pour les routes nationales

Les rôles fondamentaux des cantons comme propriétaires et maître d'ouvrages, et celui de l'OFROU comme autorité de haute surveillance et organe de financement sont établis et ne diffèrent pas pour la protection contre les chutes de pierres.

En revanche dans ce domaine, il existe des obligations, des recommandations, des informations et des moyens de traitement émanant d'autres offices ou organismes, en particulier interviennent l'OFEFP /directions des forêts, l'OFEG, l'OFEE et l'OFAT, la commission fédérale CEAC et subsidiairement l'OFPC, l'OFT, l'OFEE et l'OFS. Sont aussi à citer dans ce cadre le WSL et les projets particuliers PLANAT (par l'OFEG), KATARISK et NAHRIS (par OFPC), ainsi que des instituts des EPF et des organismes cantonaux dont en particulier le CREALP (VS).

L'information sur les événements de chutes de pierres et les mesures de défense engagées sont diluées entre les compétences et les tâches de plusieurs offices et organismes. Une vue d'ensemble est difficile à obtenir. La collaboration et la coordination sont encore généralement trop peu institutionnalisées. Il y a de même de grandes différences de cantons à cantons. Une collaboration interdépartementale à tous les niveaux est absolument à promouvoir pour pouvoir réaliser les progrès souhaités dans la protection contre les chutes de pierres.

Des démarches de coordination dans ce sens sont en cours entre les offices. L'Annexe 10 donne sous forme de matrice de coordination le mode de traitement envisagé pour les mesures de protection contre les dangers naturels le long des routes donnant droit à des contributions fédérales en application de la LUMin.

Il paraît que de telles dispositions font défaut actuellement pour les chemins de fer, dans le cadre de la haute surveillance exercée par l'OFT.

7. ELEMENTS DE LA THEMATIQUE CHUTES DE PIERRES

7.1 Définitions

La notion "chutes de pierres" utilisées ici recouvre certains types d'événements délimités et définis comme suit :

- Impact de pierres ($\varnothing < 50$ cm) et de blocs ($\varnothing > 50$ cm) plus ou moins isolés, tombant en chute libre, roulant, glissant ou sautant sur une pente. Les vitesses de chute sont de l'ordre de 5 à 30 m/s (ou plus en chutes libres). Il peut s'agir aussi de glaçons ou de blocs de glace.
- Eboulement de masses rocheuses plus importantes (100 à 100'000 m³) qui se fractionnent durant la chute et lors de l'impact en blocs et pierres et dont

l'interaction entre les composants n'a pas d'influence majeure sur la dynamique du processus. Les vitesses sont de l'ordre de 10 à 40 m/s. Les durées d'impact des composants sont de l'ordre de 0.05 s.

Les écroulements définis comme effondrement de très grandes masses rocheuses (>1 Mio m³), plus ou moins cohérentes dans leur unité rocheuse originale, atteignant de grandes vitesses et dont la mécanique et le transport sont marqués par une forte interaction entre les composants sont exclus du domaine traité ici par le ExGr. Ce type de danger, dès qu'il est reconnu est pour les voies de circulation à maîtriser essentiellement par des mesures passives, soit par des modifications majeures du tracé.

7.2 Eléments de la thématique chutes de pierres

Le processus de chutes de pierres comporte plusieurs aspects / domaines relevant de disciplines et de spécialistes distincts. Pour l'analyse de la situation faite par le "ExGr" ils ont été distingués comme suit :

- reconnaissance, et caractérisation du danger potentiel, inventaires, cartes de danger (volumes mobilisables, définition du bloc de dimensionnement, probabilités, calculs trajectographiques)
- analyse du risque, définition du degré de protection et des risques acceptés, évaluation de l'opportunité des protections
- mesures de protections à l'amont des voies de circulation
- mesures de protections au niveau voies de circulation
- réglementation pour le dimensionnement des ouvrages de protection
- moyens et stratégie de surveillance et d'alarme (prise en compte du risque résiduel)
- vérification des ouvrages existants et év. analyses d'accidents connus et documentés.

L'état des connaissances ainsi que les moyens et pratiques actuels pour traiter ces différents aspects de la thématique ont été évalués par le "ExGr".

8. POTENTIELS DE DANGERS

8.1 Objet

Il s'agit ici d'apprécier ce qui peut se passer dans les pentes ou les parois rocheuses en amont de la voie de circulation, c'est-à-dire de reconnaître une présence éventuelle de danger et de caractériser cas échéant ce danger potentiel. Il s'agit ensuite de consigner et de conserver les informations et résultats acquis,

soit en particulier de dresser les cartes de danger qui interviendront comme outil de base pour la surveillance et la planification.

L'appréciation des dangers potentiels d'une paroi comprend les aspects suivants :

- prédisposition d'une paroi à générer des chutes de pierres
- étendue de la zone exposée aux chutes de pierres
- probabilité d'apparition des chutes de pierres
- intensité de la chute de pierres, énergies à attendre (masses et vitesses).

8.2 Moyens et état des connaissances

Prédisposition d'une paroi à générer des chutes de pierres

L'appréciation d'une telle prédisposition se base sur deux moyens fondamentaux :

- L'étude géologique
- L'histoire

Pour l'établissement de l'étude géologique, on dispose de tous les moyens actuels du géologue concernant en particulier l'analyse structurale et géomécanique du massif, les investigations visuelles et instrumentées in situ, la modélisation des comportements.

Par "histoire", on entend l'ensemble des données conservées en mémoire sur des événements antérieurs. Il peut s'agir de chroniques, de souvenirs de responsables locaux, de cartes des phénomènes recensant les signes indicateurs ("témoins muets") observés sur le terrain, ainsi que de cadastre d'événements ou de cartes de dangers existants.

Etendue de la zone exposée, sur l'axe de circulation

L'étendue de la zone exposée est d'abord déterminée par celle de la zone de décrochement et ensuite par la zone de dispersion des blocs roulant et sautant sur la pente.

Les moyens à utiliser sont ceux décrits aux paragraphes précédents complétés par les simulations trajectographiques basées sur les données ou relevés cartographiques, les caractéristiques de réponse du terrain et la géométrie des blocs.

Probabilité d'apparition des chutes de pierres

Les fréquences prévisibles ou probabilités des événements physiquement possibles sont un paramètre nécessaire pour l'évaluation du danger potentiel. De manière générale leur estimation implique la définition de scénarii "ampleur des masses – fréquences correspondantes". Il est important que ces estimations soient justifiées et reproductibles.

Les moyens disponibles pour de telles estimations sont d'abord les études géologiques citées précédemment, auxquelles s'ajoutent les analyses des types d'évolutions dynamiques des mouvements (continu, saisonnier, unique, etc.), selon les mécanismes géologiques et physiques mis en jeu.

Les analyses statistiques des cadastres d'événements seraient un outil simple, efficace et fiable, mais les données existantes sont peu souvent suffisantes.

Lorsqu'il y a dispersion de blocs sur la pente, les simulations trajectographiques permettent de déterminer de telles probabilités, toutefois en étant directement dépendantes des conditions admises pour le décrochement des blocs.

Pour ce paramètre, les résultats à attendre sont des ordres de grandeur, qui sont généralement fiables, et qui donnent une idée sur le type de répartitions probabilistes.

Intensité de la chute de pierres, énergies à attendre

Les énergies prévisibles dans les zones d'impacts (essentiellement masses et vitesses) sont déterminantes pour la conception et le dimensionnement des ouvrages de protection.

Leur évaluation résulte directement des études et analyses déjà citées, soit des études géologiques, des analyses intuitives ou statistiques d'événements connus cadastrés et des simulations trajectographiques.

Les résultats obtenus avec ces méthodes sont plutôt fiables. Cependant, on doit s'attendre à une forte variation des valeurs des masses données en fonction de leur probabilité d'apparition : entre des événements "usuels ou normaux" (réguliers ou fréquents) et des événements "accidentels ou extraordinaires" (rares ou uniques) les masses correspondantes peuvent varier de plusieurs ordres de grandeur.

8.3 Inventaires des dangers

L'inventaire des dangers comprend deux éléments distincts, l'un rétrospectif et l'autre prospectif :

- Le cadastre des événements passés, répertoriés
- Les cartes de danger.

L'établissement et la tenue de cadastres des événements survenus et constatés sont réalisés de façon inégale dans les différents cantons, et sous l'égide de différents services cantonaux; les supports, les teneurs, les formes et l'importance des cadastres existants sont diversifiés.

Selon la législation fédérale sur les forêts et la police des eaux, les cantons ont le devoir d'établir des cadastres d'événements et des cartes de danger pour l'ensemble des dangers naturels.

Dans ce cadre, et comme premier module d'un futur système d'information sur les dangers naturels, le cadastre StorMe assisté par ordinateur et développé par

l'OFEFP, avec quelques cantons pilotes est à recommander pour une utilisation générale par tous les cantons (c.f. ch. 5.2 et Annexe 9).

Pour les cartes de danger la situation dans les cantons est similaire. Aucun système uniformisé n'est cependant disponible.

Les cartes de dangers établies sont très différentes selon l'ampleur des informations intégrées. Principalement on distingue les "cartes indicatives de danger" (GHK : indicatives, sans données sur l'intensité et la probabilité), des "cartes de dangers" (GK : avec toutes les informations, et la précision pour permettre des prises de décisions concrètes). Ces cartes sont encore comprises et développées principalement dans les buts d'aménagement du territoire.

Les éléments donnant l'inventaire des dangers sont à considérer comme des aspects très importants pour l'appréciation des dangers potentiels soit pour établir cette appréciation, soit pour la communiquer. Ils méritent de ce fait une attention particulière.

9. ANALYSE DES RISQUES ET OBJECTIFS DE PROTECTION

9.1 Objet

Par définition, le risque est déterminé par combinaison (espérance mathématique) des dangers potentiels avec les dommages résultants lors d'une réalisation de ce danger :

$$\Sigma (R) = \Sigma (Dg \times Do)$$

avec :	R :	risque, soit ampleur des conséquences sur une période de référence donnée p. ex. [z morts / année]
	Dg :	danger, soit fréquence d'événements d'une intensité donnée (I) sur une période de référence p. ex. [x blocs (I) / année]
	Do :	dommage, soit conséquences d'un événement d'une intensité donnée p. ex. [y morts / bloc (I)].

Le risque total est évalué sur la somme des risques individuels calculés pour les événements de différents types et intensités prévisibles sur le site.

Il est exprimé sur un certain critère, qui peut être dans notre cas le nombre de morts ou de blessés ou le coût financier.

Cette valeur de "risque" est confrontée à un objectif de protection déterminé par ailleurs. De cette comparaison résulte en logique pure, les mesures de protection (en principe constructives) à prendre, les risques acceptés, et éventuellement des mesures de sécurité supplémentaires (en principe organisationnelles), selon le principe

$$\Sigma (P + S + Ra) \geq \Sigma R$$

avec : **P** : mesures de protection pour contrer le risque
 S : mesures supplémentaires pour réduire le risque
 Ra : risque accepté.

9.2 Détermination du risque

La détermination du danger potentiel (cf ch. 8), c'est-à-dire la détermination du type d'événement, de sa localisation géographique et de son extension topographique, l'évaluation de son intensité prévisible et l'estimation de sa probabilité d'occurrence sont spécifiquement du domaine du Géologue. Les méthodes et moyens à utiliser existent et sont connus de ces spécialistes. Une telle méthode est utilisée en Valais depuis de nombreuses années avec succès. La réf. [12] décrit cette démarche sous forme de rapport modèle pour l'analyse de parois.

L'appréciation du (des) dommage(s) résultant(s) relève elle du domaine de l'ingénieur, qui également dispose des connaissances et moyens utiles pour l'effectuer. Avec ces éléments la détermination du risque peut-être faite de manière réaliste et fondée.

L'évaluation de la fréquence (ou de la probabilité) des types d'événements possibles identifiés en constitue la plus grande difficulté. Il est essentiel ici que le risque soit déterminé pour un nombre élevé de scénarii, selon les genres de mécanismes physiques – géologiques, et selon les intensités des événements pour lesquels une probabilité raisonnable de réalisation de l'événement puisse être donnée.

9.3 Objectif de protection – risques acceptés

L'objectif de protection est une notion de nature conventionnelle et non scientifique. Il est déterminé sur la base d'une décision explicite ou implicite de la "société" ou par des experts. Il est exprimé dans les mêmes termes que le risque, soit en particulier le nombre de morts ou de blessés accepté, ou le coût financier assumé, ou la durée admise d'indisponibilité (mise hors service) d'une voie de circulation. Il implique obligatoirement en corollaire un risque accepté.

L'objectif de protection n'est pas univoque. Il dépend du type de dommage, du propriétaire portant responsabilité pour les dommages causés, du caractère facultatif ou non de l'exposition de l'utilisateur au risque. Il peut aussi dépendre de l'ampleur des moyens nécessaires à un accroissement de la protection. Le choix d'un objectif de protection se base le plus souvent sur des références historiques et sur des options socio-politiques et économiques, liés à l'acceptance de la population vis-à-vis des risques individuels.

L'Annexe 6 donne deux exemples de critères et valeurs d'acceptation des risques de mort par la société.

Pour le cas spécifique des chutes de pierres il n'existe aucune disposition définitive fixant les objectifs de protection. Des propositions partielles (qualitatives) existent

dans certains cantons (p. ex. Berne). De même et pour analogie il existe des règles ou des directives fixant le degré de protection pour d'autres dangers (p. ex. Hochwasserschutz / URI [7], OFEG [13], [14], OFEFP [15]).

En revanche, il ne semble pas exister en Suisse de données concernant la problématique de l'acceptance juridique de règles permettant une décision dans ce domaine. De plus, la transposition d'éventuelles études d'autres pays n'est par principe pas possible sans autre, du fait des différents systèmes juridiques.

10. MESURES DE PROTECTION A L'AMONT DE LA VOIE DE CIRCULATION

Ces mesures englobent toutes les interventions réalisées en dehors du tracé routier lui-même (tunnel, galerie, viaduc ou encorbellement) pour supprimer le danger ou au mieux en diminuer l'effet destructeur. Il s'agit de mesures artificielles qui sont prises en complément ou remplacement des boisements forestiers commencés il y a plus d'un siècle sous l'égide de la Confédération pour lutter contre les avalanches et l'érosion des sols.

10.1 Forêt protectrice

La forêt constitue une protection éprouvée contre l'érosion des sols, les avalanches et les chutes de pierres. Une forêt protectrice en pleine force de l'âge (cela représente au minimum 50 ans d'investissement et ensuite un entretien permanent) est un écran multi-fonctionnel efficace à plus d'un titre. Comme tout écran elle agit par arrêt ou diminution de l'énergie des blocs et est relativement inefficace contre les éboulements de masse. Son étendue dans l'axe de la pente est une garantie à long terme et sa densité augmente son efficacité. Souvent, son effet protecteur est complété par l'implantation d'écrans artificiels (digue, filet, etc.) à l'amont, à l'intérieur ou à l'aval de celle-ci.

Le point faible de ce type de protection est l'énorme temps de reconstitution que réclame la forêt. Elle doit en plus faire l'objet d'une attention soutenue pour bien cibler les secteurs de reboisement progressif.

10.2 Intervention en falaises

Ce genre d'opération consiste soit à supprimer l'aléa (purge à la barre à mine ou à l'explosif) soit à le stabiliser en falaise (clou, ancrage, filet ancré, bandeau ou pilier bétonné, etc.). Le mode de faire est décidé par le géologue et réalisé par des équipes de guides spécialement formés à ce type d'intervention. Le minage de l'aléa, pour autant qu'il ne représente pas une opération trop risquée pour l'objet à protéger, représente souvent la solution la moins onéreuse.

Toute intervention en falaise fait l'objet d'un suivi périodique à long terme portant sur des mesures de déplacement sur fissure et appréciation de l'état de dégradation de la falaise en vue d'un éventuel renouvellement des mesures de purge.

10.3 Construction d'écrans dans la pente

Dans beaucoup de cas – comme alternative financière à une galerie ou parfois même pour améliorer le degré de protection d'une galerie existante - on pose sur la pente comprise entre l'axe routier et le pied de la falaise une ou plusieurs rangées d'écrans superposés (en fonction de l'énergie d'impact à reprendre).

En fonction du profil topographique on a le choix entre le filet ($\leq 3000\text{kJ}$), le merlon ($\leq 5000\text{ kJ}$) et la digue renforcée ($\geq 20'000\text{ kJ}$). Le merlon reste la mesure la plus économique à mettre en place. Là où le merlon ne peut être construit du fait de la trop forte pente, on installe le nombre de rangées de filets superposées permettant d'absorber l'énergie totale du bloc de dimensionnement.

Si par manque de connaissance sur la source du danger on a souvent par le passé multiplié exagérément le nombre de rangées de ce type d'écran, actuellement une parfaite analyse des aléas et le calcul trajectographique permettent d'obtenir un excellent rapport coût-efficacité pour les filets.

10.4 Mesures de surveillance

Des mesures de surveillance (et d'entretien) constituent aussi des mesures de protection passives. Elles sont traitées sous ch. 13.2.

11. MESURES DE PROTECTION AU NIVEAU VOIE DE CIRCULATION

11.1 Mesures actives

Ces mesures, usuelles, sont appliquées le long - à proximité immédiate – ou sur la voie de circulation. Les différents types de protections se distinguent en particulier par leurs principes constructifs, leur comportement (ductilité), et par les domaines d'énergies qu'ils peuvent absorber (cf. Annexe 7).

- **Ecrans, palissades, immédiatement le long de la voie :**
 - comportement plutôt fragile
 - petites énergies absorbables (10 à 50 kJ; 30 à 300 kJ pour des écrans avec filets diagonaux ou à anneaux)
 - effet de protection réduit, efficace pour petits pierres ou blocs roulant sur la pente
 - simple à exécuter à surveiller et à entretenir
 - coût modeste par rapport aux autres mesures.

- **Filets à proximité de la voie :**
 - comportement ductile et dissipatif dans un large domaine
 - capacités d'absorption d'énergie très étendues et élevées (200 à 3'000 kJ)
 - système très efficace pour blocs roulant et sautant, mais avec des déformations pouvant atteindre plus de 10 m
 - relativement simple à l'exécution, à la surveillance et à l'entretien, bonne capacité d'adaptation au terrain
 - coût moyen en relation avec les autres moyens disponibles.
- **Parois de protection avec zone de réception :**
 - exige un espace suffisant comme zone de réception entre la paroi et la voie de circulation
 - effet de protection variable selon les situations
 - coût modéré.
- **Merlons, digues renforcées, fossés :**
 - exigent beaucoup de place en amont de la voie de circulation
 - système efficace pour les blocs roulant ou sautant
 - adaptés pour les hautes énergies (1'000 à 5'000 kJ, voir plus jusqu'à 30'000 kJ pour les digues renforcées)
 - coûts moyens à élevés.
- **Galleries :**
 - protection directe efficace par-dessus la voie de circulation, contre tous types de chutes de pierres, glaces (+ neige)
 - à réaliser de préférence comme structures robustes, hyperstatiques et ductiles
 - capacité d'absorption d'énergie limitée à environ 3'000 kJ
 - dalles massives avec une forte couverture de terre à préférer aux structures légères ou préfabriquées, en principe en béton armé sans précontrainte
 - coûts élevés.

11.2 Mesures passives

Les mesures passives visent à s'éloigner ou à se soustraire à la zone d'exposition.

- **Ponts et modification de tracé :**

- possibilités limitées en zones montagneuses escarpées
- coûts souvent très élevés.

- **Tunnels :**

- ne restent critiques vis-à-vis des chutes de pierres que éventuellement dans les zones des portails (hormis la problématique spécifique de la sécurité d'écoulement du trafic en tunnel)
- coûts très élevés, souvent non justifiables par les seules questions de risques de chutes de pierres.

11.3 Choix et mise en œuvre

Le choix de la solution de protection dépend dans une grande mesure des énergies qui sont en jeu et des conditions spécifiques locales. Les compétences pour ces études sont celles de l'ingénieur, mais une étroite collaboration avec le géologue est nécessaire. L'Annexe 7 donne une référence générale indicative quant aux capacités d'absorption d'énergie par les différents systèmes.

Parmi de nombreux facteurs à considérer, l'analyse "coût/efficacité" de la mesure de protection pressentie constitue une base de décision importante. Elle devrait dans le futur recevoir une attention particulière. Dans ce domaine, l'OFEFP a publié le document PRAXISHILFE [10] en 1999 pour l'évaluation des mesures de protection contre les avalanches. Il manque encore à ce jour des modèles correspondants pour les autres processus comme p. ex. les chutes de pierres ou les glissements de terrain, qui sont dans l'intervalle à traiter par analogie.

12. REGLEMENTATION POUR LE DIMENSIONNEMENT DES OUVRAGES DE PROTECTION

Règles générales

Le dimensionnement des ouvrages, tant pour les ouvrages de protection passifs sur les voies de circulation que pour les mesures actives de stabilisation en falaise, est réglementé techniquement par les règles de l'art usuelles, soit essentiellement les normes SIA et VSS.

Particularités pour les actions de chutes de pierres

Le cas de chutes de pierres se singularise du fait que les actions dynamiques d'impacts dépendent essentiellement de la réponse de la structure. Elles ne peuvent pas être généralisées indépendamment de la structure.

[Remarque : un chemin alternatif simplificateur serait possible, par analogie à la pratique antérieure pour les ouvrages de protection contre les avalanches. Dans ce mode on décrirait des actions de remplacement statiques conventionnelles, modulées forfaitairement pour des protections légères, moyennes ou lourdes – le potentiel de danger serait défini de manière correspondante].

Réglementations spécifiques existantes

- Pour les galeries :

Directive "Actions sur les galeries de protection contre les chutes de pierres" / OFROU – CFF / 1998 : directive pour le calcul des charges statiques de remplacement à utiliser pour le dimensionnement des galeries [8].

Documentation "Projet, construction et entretien des galeries de protection contre les chutes de pierres et les avalanches" / OFROU – CFF / 1998 : recommandation technique [9].

- Pour les filets de protection :

"Directive sur l'homologation de filets de protection contre les chutes de pierres" / OFEFP / juin 2001 : prescription pour les essais d'homologation des produits : la liste des produits attestés est publiée sur le Web; dès fin 2004 les produits non attestés ne seront plus subventionnés par les services fédéraux.

- Pour les autres types d'ouvrages :

Aucune réglementation spécifique n'est connue. Certains ouvrages (en particulier les écrans rigides) sont dimensionnés de façon intuitive, constructive, en fonction de l'expérience pratique.

13. MESURES DE SUIVI ET SURVEILLANCE

13.1 Objet

Le suivi et la surveillance constituent à la fois un moyen de prévention et un moyen de protection. Ils sont à exercer d'une part sur les parois et pentes génératrices de chutes de pierres mais non protégées par des mesures constructives, et d'autre part sur les ouvrages de protection existants et leur environnement.

Par la surveillance on peut :

- reconnaître et interrompre le développement d'un danger potentiel (déclenchement de travaux préventifs)
- protéger les utilisateurs sur des zones exposées (fermetures au trafic)
- suppléer aux incertitudes et imprécisions sur la probabilité d'apparition d'évènements potentiels
- suivre l'évolution par une actualisation périodique des observations.

13.2 Moyens et état des connaissances

Surveillance des ouvrages existants

La surveillance des ouvrages d'art (galeries) en eux-mêmes est effectuée systématiquement tous les 5 ans au moins, selon la directive y relative de l'OFROU.

La surveillance de l'environnement de ces ouvrages, le suivi et éventuellement la vérification des ouvrages en fonction de l'évolution des dangers (actualisation des plans de sécurité) ou de l'évolution des connaissances (méthodes de dimensionnement) ne sont en revanche pas effectués systématiquement.

Pour les autres ouvrages de protection la surveillance est peu développée. Pour les filets existent ponctuellement des recommandations des fournisseurs.

Surveillance des falaises et pentes

La surveillance des secteurs identifiés comme générateurs de chutes de pierres ou éboulements est exercée avec plus ou moins d'acuité en fonction du risque encouru.

Dans le cas d'un événement potentiel de type éboulement la surveillance est la seule alternative possible. En effet, lorsque le volume est trop important pour être repris par une mesure de protection, la mise en place d'une surveillance automatique couplée à un système d'alarme est la seule alternative possible pour sécuriser le tronçon de route menacé.

La palette des moyens de surveillance disponibles est très large. Elle va d'une simple inspection visuelle du site aux systèmes instrumentés (extensométrie, géodésie, pressiométrie, etc.), totalement automatisés voire avec télétransmission des données et génération d'alarmes. Les observations et mesures portent sur divers groupes de paramètres : les mouvements / déformations, les facteurs déclenchants (p. ex. pluviométrie et température) et parfois les facteurs dégradants pour autant qu'il soient différents des déclenchants.

Les techniques utilisées sont nombreuses et diverses. Leurs performances sont en constante évolution. Si pour les chutes de pierres, et en particulier pour le décrochement de pierres et de petits blocs le délai d'annonce peut être très court, les systèmes d'alarme automatisés peuvent encore être efficaces, même en réagissant relativement tard. Comme dans le cas des avalanches on a la possibilité de poser à l'aval des filets d'alerte qui au moindre choc d'un bloc déclenchent automatiquement la fermeture de la route.

D'une façon générale, la surveillance en tant que substitut à un moyen de protection est beaucoup utilisée en phase critique d'un événement mais très peu comme un outil de protection à moyen ou long terme.

Une surveillance périodique de zones déjà reconnues et évaluées est également un besoin. La périodicité des interventions est à fixer de cas en cas.

L'organisation, la définition des compétences et des responsabilités et la coordination entre les services doit faire l'objet d'une attention particulière.

14. LACUNES CONSTATEES ET ACTIONS RECOMMANDEES PAR LE ExGr

Par cet examen de la situation concernant les moyens, les connaissances et les pratiques actuelles dans le traitement des divers éléments liés à la thématique des chutes de pierres, le "ExGr" a constaté un certain nombre de lacunes ou de faiblesses. Afin d'y remédier et d'améliorer la protection des voies de circulation contre les chutes de pierres, il recommande d'entreprendre les actions récapitulées et commentées ci-après.

L'objectif primaire fixé est la protection des routes nationales. Plusieurs actions proposées ont un intérêt et un domaine d'application général, en particulier pour les autres types et classes de voies de circulation. En revanche des besoins spécifiques d'autres domaines d'application ne sont pas évalués ici.

14.1 Aspect "A" : Potentiels de dangers (cf. ch. 8)

A1 Inventaire des événements, cadastre

- **Lacune :** Il n'existe pas de cadastre d'événement complet, systématique et unifié pour les routes nationales dans tous les cantons.
- **Action :** Informations aux cantons sur la banque de données StorMe de l'OFEFP et demande de documentation et archivage des événements sur ce support; règlement des accès et de la gestion, entre cantons et Confédération.

A2 Probabilité d'occurrence des événements potentiels

- **Lacune :** L'évaluation des probabilités d'apparition des événements physiquement reconnus comme probables varie fortement selon d'une part les méthodes utilisées, et d'autre part selon l'appréciation du géologue impliqué (voir aussi Annexe 8).
- **Action :** Développer une recommandation et un guide à l'intention des spécialistes mandatés, en fonction des connaissances actuelles.

A3 Cartes de danger

- **Lacune :** Les cartes de danger pour les zones de routes nationales exposées aux chutes de pierres ne sont pas établies systématiquement; la situation est identique pour les CFF.
- **Action :** Définition du type de carte à établir (selon recommandations fédérales) et des éléments à spécifier pour le choix et le dimensionnement des ouvrages de protection. Demande aux cantons d'établir ces cartes pour les zones concernées des routes nationales. Idem pour les CFF.

14.2 Aspect "B" : Analyse des risques et objectifs de protection (cf. ch. 9)

B1 Objectifs de protection

- **Lacune :** Absence à peu près totale d'indications de l'autorité de haute surveillance sur les objectifs de protection à assurer.
- **Action :** Développement d'un concept, d'une méthode d'évaluation du risque accepté et détermination des degrés de protection requis pour les routes nationales des différentes classes, en harmonie avec le traitement des autres dangers naturels et en coordination avec les projets similaires en cours d'autres offices (e.a. OFEFP, OFEG).

B2 Méthodes d'analyse du risque

- **Lacune :** Les méthodes d'analyse et de calculs du risque sont nombreuses, diverses et souvent non convergentes.
- **Action :** Harmonisation des diverses méthodes d'analyse du risque actuellement utilisées et définition du mode de calcul du risque, unifié pour les routes nationales et en coordination avec les projets similaires en cours d'autres offices (OFEFP e.a.).

B3 Contexte juridique du traitement des risques acceptés

- **Lacune :** Une grande incertitude règne sur les responsabilités individuelles et celles d'offices ou cantons, dans la prise en compte de risques acceptés.
- **Action :** Etude du cadre juridique, et avis de droit sur la validité et les conséquences de la définition par l'office ou le canton de degré de protection et de risques acceptés. Appréciation des critères de "consensus social" et de "principe de proportionnalité".

14.3 Aspect "C" : Mesures de protection à l'amont de la voie de circulation (cf. ch. 10)

C1 Entretien des forêts protectrices

- **Lacune :** La surveillance et l'entretien des forêts ayant un rôle protecteur en amont de la route nationale ne sont pas effectués systématiquement.
- **Action :** Evaluation par cas de l'effet de protection de la forêt existante et, cas échéant vérification de l'entretien des forêts protectrices en amont des routes nationales par leurs propriétaires; selon la situation mise à disposition des moyens nécessaires adéquats.

C2 Coût des interventions à l'amont

- **Lacune :** Liste des moyens usuels et prix indicatifs.
- **Action :** Etablissement d'un catalogue des moyens types usuels avec des prix indicatifs.

14.4 Aspect "D": Mesures de protection au niveau voie de circulation (cf.ch. 11)

D1 Choix des filets de protection

- **Lacune :** La directive OFEFP sur l'homologation des produits à utiliser n'est pas généralement connue des cantons.
- **Action :** Information (circulaire) aux cantons sur l'existence de la directive OFEFP et sur les obligations qui en résultent dans le choix des produits.

D2 Détermination et choix des mesures de protection

- **Lacune :** Les décisions de protection et les choix des mesures adéquates sont dans plusieurs cas insuffisamment fondés.
- **Action :** Information aux cantons et demande de motivation des mesures projetées selon la méthode "coût-efficacité", par analogie à la démarche définie par l'OFEFP dans son document "Praxishilfe" établi pour l'évaluation des mesures de protection contre les avalanches. Ev. Adaptation du document OFEFP.

14.5 Aspect "E" : Réglementation pour le dimensionnement des ouvrages de protection (cf. ch. 12)

E1 Actualisation de la directives OFROU / CFF (1998) sur les actions

- **Lacune :** Références de ce document à des normes SIA abrogées prochainement (Juin 2004).
- **Action :** Actualisation de la directive OFROU / CFF sur les actions aux nouvelles normes techniques de la SIA (Swisscodes).

E2 Points techniques particuliers de la directive OFROU / CFF (1998) sur les actions

- **Lacune :** Points techniques particuliers discutés ou mis en question depuis la parution, et nouvelles connaissances non prises en compte dans le domaine.
- **Action :** Avis de spécialiste sur le principe choc dur/choc mou, sur le traitement du poinçonnement et sur les connaissances nouvelles. Si nécessaire, essais à grande échelle à Walenstadt / Lochezen sur une dalle en béton armé avec et sans couverture de terre.

14.6 Aspect "F" : Mesures de suivi et surveillance (cf. ch. 13)

F1 Vérification des portails de tunnels des routes nationales - action déjà réalisée -

- **Lacune :** *Doute sur la conformité des constructions existantes, suite au cas de Chüebalm.*
- **Action :** *Demande aux cantons de vérification générale de tous les portails de tunnels ayant un rôle de protection contre les chutes de pierres.*

- **Résultat :** *Cette action lancée par circulaire OFROU du 14 janvier 2003 est réalisée; la synthèse des résultats obtenus est donnée dans l'annexe 3: huit cantons se sont trouvés concernés, et aucun défaut n'a été constaté.*

F2 Vérification des galeries de protection contre les chutes de pierres

- **Lacune :** L'état des galeries existantes est surveillé périodiquement par les cantons, selon les directives OFROU pour la surveillance des ouvrages d'art des routes nationales. En revanche les dangers potentiels (falaises et pentes en amont) ainsi que les hypothèses et méthodes initiales de dimensionnement n'ont jamais été vérifiées.
- **Action :** Etablissement d'un cahier des charges et demande aux cantons d'effectuer une vérification générale de toutes les galeries et portails de tunnels ayant fonction de protection contre les chutes de pierres quant aux dangers potentiels présents en parois, au principe de dimensionnement et à la sécurité effective de la construction existante. Cas échéant identification des objets nécessitant une vérification détaillée. Instauration d'une ré-évaluation périodique des dangers en parois pour ces objets, dans une fréquence à fixer de cas en cas.

F3 Méthodes de surveillance instrumentée en parois.

- **Lacune :** Grande disparité des méthodes de surveillance instrumentées et des moyens utilisés: tendance à la réinvention pour chaque cas.
- **Action :** Etablissement d'une collection de cas typiques comme références et modèles.

F4 Nouvelles méthodes de surveillance instrumentée en parois.

- **Lacune :** Suivi des développements techniques en Suisse et à l'étranger. La Suisse n'a pas d'expérience dans la méthode moderne par radar terrestre et par radar-interférométrie. Les pays européens utilisent cette technique couvrant la surface totale d'une falaise dangereuse (mesures à grille fines).
- **Action :** Application de la méthode sur quelques sites en Suisse. Projet pilote avec adaptation éventuelle.

14.7 Aspect "G" : Mesures générales pour la gestion des dangers naturels

G1 Gestion interne et coordination interdépartementale (cf. ch. 6.2)

- **Lacune :** Une vue d'ensemble sur les législations, les actions et exigences d'autres offices, les développements et projets extérieurs en cours ainsi que le traitement interne à l'OFROU et avec les autres offices des questions touchant aux dangers naturels n'existe pas.
- **Action :** Création à l'OFROU d'un poste de spécialiste pour le domaine "dangers naturels".

G2 Gestion d'évènements ayant causé des dommages

- **Lacune :** Après un accident de chute de pierres sur une route nationale les actions à entreprendre, les instances impliquées avec leurs tâches/compétences, et l'information entre canton et OFROU ne sont pas suffisamment définies.
- **Action :** Etablissement d'un guide, d'un catalogue et d'un plan d'action.

14.8 Plan d'action								
Act. N°	Aspect/Domaine	Action Texte court des ch. 14.1 à 14.7	Instances responsables ⁽¹⁾	Priorité	Planning estimé			
					an 1	an 2	an 3	ultér.
A1	Potentiels de dangers	Inventaire des événements, cadastre	OFROU resp. OFT et Cantons resp. CFF	1				
A2	Id.	Probabilité d'occurrence d'événements potentiels	OFROU-OFEFP-OFEG	1	→	→		
A3	Id.	Cartes de danger	OFROU-OFEFP-OFEG	1	→			
B1	Analyse des risques et objectifs de protection	Objectifs de protection	OFROU-OFEFP-OFEG	1		→		
B2	Id.	Méthodes d'analyse du risque	OFROU-OFEFP-OFEG	2	→			
B3	Id.	Contexte juridique du traitement des risques acceptés	OFROU-OFEFP-OFEG	2				
C1	Mesures de protection à l'amont	Entretien des forêts protectrices	OFROU-OFEFP	3		→		
C2	Id.	Catalogue et coût des moyens usuels	OFROU-OFEFP	3		→		
D1	Mesures de protection au niveau voie de circulation	<i>Choix des filets de protection</i>	OFROU	réalisé			→	
D2	Id.	Détermination et choix des mesures de protection	OFROU-OFEFP-OFEG	2				
E1	Réglementation pour le dimensionnement	Actualisation de la directive OFROU/CFF – 1998 sur les actions	OFROU-CFF	1	→	→		
E2	Id.	Points techniques particuliers de la directive OFROU/CFF – 1998 sur les actions	OFROU-CFF	2				
F1	Mesures de suivi et surveillance	<i>Vérification des portails de tunnels</i>	OFROU-Cantons	réalisé		→		
F2	Id.	Vérification des galeries	OFROU-Cantons	1			→	
F3	Id.	Méthodes de surveillance instrumentée de parois	OFROU-OFEFP-OFEG	2		→		
F4	Id.	Surveillance de parois par radar, projets pilotes	OFROU-OFEFP-OFEG	2			→	
G1	Mesures générales pour la gestion des dangers naturels	Gestion interne et coordination interdépartementale	OFROU resp. CFF	1	→		→	
G2	Id.	Gestion d'événements ayant causé des dommages	OFROU resp. CFF	1	→			

(1) Organisation qui prend l'initiative de lancer et piloter l'action

15. CONCLUSION

Le ExGr – OFROU / Chutes de pierres constitué sous l'égide de l'OFROU a travaillé de février à juillet 2003 et a siégé à quatre reprises.

Après avoir structuré en éléments la thématique du danger naturel "Chutes de pierres", il a évalué l'importance de celui-ci pour les voies de circulation et établi un état des connaissances et pratiques actuelles pour la reconnaissance, la prise en compte et la maîtrise de ce danger. Il a conduit, conjointement avec l'OFROU / Domaine Ouvrages d'art, deux enquêtes auprès des cantons sur l'importance du phénomène, l'ampleur et la situation des ouvrages de protection existants sur le réseau des routes nationales et sur les événements marquants recensés.

Ensuite le ExGr a identifié les lacunes ou faiblesses constatées dans le traitement actuel des différents éléments. Six domaines ont été évalués, soit :

- A reconnaissance et caractérisation du danger potentiel, inventaires, cartes de danger
- B analyse du risque, définition du degré de protection et des risques acceptés, évaluation de l'opportunité des protections
- C mesures de protection à l'amont de la voie de circulation
- D mesures de protection au niveau voies de circulation
- E réglementation pour le dimensionnement des ouvrages de protection
- F moyens et stratégie de surveillance et d'alarme.

Le danger naturel de "chutes de pierres" a été reconnu comme présent et réel pour les routes nationales dans 14 cantons sans être cependant dominant par rapport aux autres dangers auxquels est exposé le trafic routier. 39 événements de chutes de pierres d'importance notable sur les routes nationales ont été répertoriés pour les dernières années.

Plusieurs de ces cas, en particulier les accidents récents 2002/2003 contenaient un potentiel de dommage élevé. Leur issue, principalement l'absence de blessés et de morts est à qualifier de "heureuse" et les conséquences auraient pu être, aléatoirement, beaucoup plus tragiques. Sur d'autres routes le facteur chance a été inversé et plusieurs cas de mort d'homme sont connus.

Les mesures immédiates prises par l'OFROU pour le contrôle des zones d'entrée de tunnels ont permis de confirmer l'absence de défaut de ces ouvrages dans les huit cantons concernés par ce type de situation. Aucune mesure spéciale urgente n'a donc été nécessaire. De même aucune faiblesse apparente grave n'a été signalée par les cantons dans les zones reconnues, équipées, protégées ou surveillées.

Selon son analyse le ExGr recommande la mise en œuvre de 18 actions pour répondre aux tâches et responsabilités assumées par les maîtres d'ouvrages (cantons) et l'autorité de haute surveillance (OFROU). Ces actions visent à maîtriser et à établir un niveau de sécurité justifié et cohérent vis à vis du danger de chutes de pierres. 16 actions sont d'ordre technique ou administratif, impliquant les cantons, l'OFROU et d'autres Offices parties prenantes à ces tâches selon la législation et l'usage. Deux actions sont d'ordre général et organisationnel pour l'OFROU. La situation des CFF est traitée par analogie.

Avec la publication du présent rapport, le groupe d'experts a accompli sa mission. Il reste toutefois à disposition pour préciser, délimiter, piloter et accompagner les actions proposées.

Le président**M. Donzel**

OFROU / Domaine Ouvrages d'art

Berne, le 11 septembre 2003

Le rédacteur**J. Jacquemoud**

Bureau d'Ingénieurs

Sion, le 4 septembre 2003

BIBLIOGRAPHIE ET REFERENCES

- [1] OFS : statistique "accidents de la circulation routière en Suisse depuis 1970" et "communiqués de presse" : [www.statistique.admin.ch/...]
- [2] OFAT – OFEE – OFEFP : Dangers naturels, recommandation 1997, "Prise en compte des dangers dus aux mouvements de terrain dans le cadre des activités de l'aménagement du territoire" [aussi sous pdf. par www.bwg.admin.ch/themen/natur...]
- [3] OFEFP – WSL : W. Gerber + al : "Directive sur l'homologation de filets de protection contre les chutes de pierres", l'environnement pratique, 2001 [aussi par www.buwalshop.ch]
- [4] OFPC : Katanos, "Catastrophes et situations d'urgence en suisse – une analyse comparative, 1995
- [5] B. Loup, "Problématique et prise en compte des dangers naturels en suisse", OCAT-Fribourg, journées HES – so du 26 nov. 1999, rapport GC – 1999 – 4
- [6] EPFL-MCS : div. Auteurs, "Niveau de sécurité requis pour l'évaluation de ponts-routes existants", mandat de recherche 84/99, avril 2002, DETEC/OFROU N° 566
- [7] Kanton URI : "Richtlinie für den Hochwasserschutz, Januar 1995
- [8] OFROU-CFF : "Actions sur les galeries de protection contre les chutes de pierres", Directive, 1998, N° 308-317.f/d
- [9] OFROU-CFF : "Projet, construction et entretien des galeries de protection contre les chutes de pierres et les avalanches", Documentation, 1998, N° 308-324.f/d
- [10] OFEFP : "Kosten Wirksamkeit von Lawinenschutz - Massnahmen an Verkehrsachsen. Vorgehen, Beispiele und Grundlagen der Projektevaluation. Praxishilfe", 1999, [www.umweltscheiz.ch/buwal/shop/...]
- [11] OFROU-OFT-OFEE-CFF : "Sécurité des ouvrages d'art avec fondations immergées, Recommandations, 1998, N° 804.202 f/d
- [12] CREALP : "Musterbericht... für Felswandstudien", directive Ct.VS, N° crealp/98.13d (f), Dez. 1998
- [13] D.L.Vischer : "Wahl des Bemessungshochwassers-einige Gedanken zur Schutzzielmatrix des BWG", article "Wasser Energie Luft", 95 Jahrg. 2003, Heft 5/6
- [14] OFEG : "Protection contre les crues des cours d'eau", directive, f/d, 2001
- [15] BUWAL : "Risikoanalyse bei gravitativen Naturgefahren", Methode + Fallbeispiele und Daten, 1999, [aussi par www.buwalshop.ch]